

С. В. Нефелов, Ю. С. Давыдов

**Техника автоматического
регулирования в ситемах
вентиляции и
кондиционирования воздуха**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
С11

С11 **С. В. Нефелов**
Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха / С. В. Нефелов, Ю. С. Давыдов – М.: Книга по Требованию, 2012. – 328 с.

ISBN 978-5-458-35737-1

ISBN 978-5-458-35737-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2012

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ка основ создания систем с переменной структурой в пространстве базисных координат позволили предложить ряд конкретных технических решений по созданию программно-параметрических систем автоматического управления кондиционированием воздуха.

Исследования ряда вопросов по технике автоматизации систем вентиляции и кондиционирования воздуха, задуманные авторами к совместной проработке, к сожалению, были выполнены без участия Ю. С. Давыдова. Содержание второго издания книги значительно обновлено. При работе над ним С. В. Нефелов использовал материалы собственных теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в 1978—1982 гг., а также результаты работ, выполненных как под его руководством в лаборатории автоматизации систем микроклимата ЦНИИпромзданий и других организациях, так и при его участии.

Большую помощь в работе над вторым изданием книги оказали сотрудники лаборатории автоматизации систем микроклимата ЦНИИпромзданий Госстроя СССР и в первую очередь А. Г. Андрианова, И. Н. Камаева и Е. К. Жуикова.

Автор выражает глубокую признательность докторам техн. наук профессорам П. В. Учаскину, В. Н. Богословскому, А. А. Рымкевичу и О. Я. Кокорину за ценные советы и помощь, оказанные при работе над книгой. Автор искренне благодарен рецензентам кандидатам техн. наук доцентам Ю. Я. Кувшинову и С. А. Щелкунову, а также Киевскому институту автоматики за ценные замечания, сделанные ими при рецензировании рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

В развитии народного хозяйства страны важное место принадлежит мероприятиям по технике безопасности и производственной санитарии. Одной из форм развития и совершенствования этих мероприятий является создание комфортных тепловых условий и благоприятной воздушной среды в помещениях жилых, административных, общественных и промышленных зданий и сооружений. Кроме того, создание специального тепло-влажностного и воздушного режима в рабочей зоне становится неотъемлемой частью и обязательным условием реализации ряда современных технологических процессов в текстильной, пищевой, химической и других отраслях промышленности.

Наиболее развитыми и совершенными средствами создания требуемых параметров воздуха в помещениях являются системы кондиционирования воздуха (СКВ). Характерными особенностями СКВ являются управляемое функционирование в условиях постоянно изменяющихся параметров наружного климата, нестационарных источников и стоков тепла и влаги в обслуживаемых помещениях, а также возможная совокупность противоположно направленных в теплотехническом отношении технологических процессов обработки воздуха.

Согласно общей теории построения систем кондиционирования микроклимата [1], в основе исследования их работы лежит расчет естественного (пассивного) режима сохранения требуемых или допустимых параметров воздуха в помещении. При этом выявляется достаточность использования архитектурно-строительных и конструктивно-планировочных решений и общеобменной вентиляции для поддержания внутренних условий. В случаях, когда требуемые параметры микроклимата в помеще-

нии не могут быть сохранены при использовании перечисленных средств, необходимо переходить к специальной системе управляемого кондиционирования микроклимата с применением искусственных средств нагрева, охлаждения и вентиляции — специальных машин и агрегатов, потребляющих значительное количество электрической и тепловой энергии.

Количество потребляемой этими машинами и агрегатами электрической и тепловой энергии определяет энергоемкость систем кондиционирования воздуха. Суммарная энергоемкость СКВ в годовом цикле рассматривается как одно из ее основных качеств. В современных условиях показатель энергоемкости, являющийся социально-экономическим фактором долговременного действия, становится доминирующим фактором развития СКВ и имеет устойчивую тенденцию к увеличению. Снижение энергоемкости систем кондиционирования воздуха достигается интенсификацией отдельных технологических процессов тепломассообмена и перемещения обменивающихся сред, а также совершенствованием технологии кондиционирования микроклимата. При этом характерно стремление к реализации рациональных в отношении энергозатрат алгоритмов функционирования и использованию дополнительных источников энергии.

Очевидно, что экономное комплексное использование энергии в нескольких технологических процессах или на различных стадиях одного процесса кондиционирования микроклимата, а также максимально возможное использование низкопотенциальных источников энергии требует применения более совершенных и сложных оборудования, методов и средств автоматического управления.

Оборудование СКВ наряду с такими достоинствами, как низкая материалоемкость, высокие теплотехнические, аэродинамические и гидравлические характеристики, надежность и т. д., должно быть приспособлено к выполнению сложных алгоритмов функционирования системы и обладать свойством многовариантной и эффективной управляемости. При этом возникает необходимость совершенствования управления работой этого оборудования, процессами тепловлажностной обработки, перемещения и распределения воздуха, а также процессами ассимиляции и диссимиляции кондиционированным приточным воздухом тепла и влаги.

Целью автоматического управления СКВ является

обеспечение возможности их успешного функционирования для создания заданных параметров микроклимата в обслуживаемом помещении. Задача управления в значительной мере усложняется вследствие непрерывного действия внешних и внутренних возмущений. Для подавляющего большинства СКВ наряду с основным назначением — поддержание заданных параметров воздуха в обслуживаемых помещениях — предусматривается решение задачи экономии потребляемых системой в процессе эксплуатации тепла, холода и электроэнергии.

В настоящее время в области автоматизации технологических процессов наблюдается пересмотр практически всех аспектов контроля и управления. Это касается прежде всего алгоритмов функционирования и управления, структур и составов технических средств, объемов и распределения функций контроля, регулирования и управления, объемов и способов представления информации, роли математических моделей и моделирования. Технические системы современного уровня создаются на основе широкого использования вычислительной техники и в первую очередь мини- и микроЭВМ. Эта наметившаяся в автоматизации тенденция обусловлена научно-технической революцией и развитием общей теории автоматического управления. Как известно, современная теория управления перешла от исследования простых объектов и локальных систем автоматического регулирования к изучению вопросов управляемости, наблюдаемости и устойчивости сложных технических систем. Рассматриваемые системы состоят из многозвенной совокупности управляемых объектов и характеризуются многомерностью и взаимосвязанностью протекающих физических процессов [2].

Сложность решения проблемы автоматизации технологических процессов усугубляется тем, что в настоящее время наметилась тенденция к созданию и использованию агрегатированных комплексов технических средств, вследствие чего значительно увеличиваются капитальные затраты по сравнению с затратами на старые агрегаты и системы, автоматизируемые на основе использования разрозненных приборов и устройств. Современное направление развития автоматизации характеризуется устойчивой тенденцией к созданию специальных управляющих вычислительных комплексов на основе использования миниЭВМ. В то же время все более утверждается и

развивается направление автоматизации по пути интегрирования технологического оборудования и средств автоматического управления. Такое направление в создании автоматизированных агрегатов на этапе заводского изготовления позволяет использовать микроэлектронику, новейшие средства современной элементной базы приборов и устройств автоматики и вычислительной техники. При таком направлении автоматизации появляются так называемые встроенные системы автоматического управления, составляющие единое целое с автоматизируемым оборудованием. При создании агрегатов с встроенной автоматикой качественно изменяются их характеристики, повышается надежность и создаются условия максимальной заводской готовности оборудования к работе. Внедрение и развитие встроенных систем характеризуется устойчивой тенденцией к использованию микроЭВМ.

Проблемы автоматического регулирования работы установок кондиционирования воздуха комплексно исследовались Г. В. Архиповым, Ф. Вебером, Ю. С. Давыдовым, Б. Юнкерсом. Исследованию отдельных задач управления СКВ посвящены работы Р. Н. Давыдова, Э. Э. Дзелзитиса, А. А. Духина, И. И. Зингермана, Л. Ф. Куклика, Г. Ленца, А. М. Литвинова, В. М. Рубчинского, А. В. Степанова, С. И. Фролова, Ю. В. Фролова, Х. Д. Таутиева, Б. М. Четверухина, В. П. Шкроботова, Б. Г. Шпиза, С. А. Щелкунова и др. Фундаментальными работами в области динамики регулирования являются работы П. В. Участкина и М. Б. Халамейзера. Основы синтеза статички управления СКВ заложены в работах А. А. Рымкевича и А. Я. Креслина, а основы исследования СКВ как объектов управления — в работах В. Н. Богословского, А. А. Гоголина, М. И. Гримитлина, Е. Е. Карписа, О. Я. Кокорина, Е. В. Стефанова, В. М. Эльтермана и др.

В настоящей книге рассматриваются методы и средства автоматического управления системами кондиционирования воздуха, системами приточной и вытяжной вентиляции, решаемые на основе анализа свойств и особенностей этих систем как управляемых, т. е. как систем регулируемого кондиционирования микроклимата [3] и комплексного исследования всех факторов нестационарного управляемого режима работы систем, существенно влияющих на ее эффективность.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

1.1. ПРОЦЕССЫ, ПЕРЕМЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ И СТРУКТУРА СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Совокупность физических параметров воздушной среды — температуры, влажности, давления, скорости движения, чистоты, газового и ионного состава воздуха и т. д. — представляет собой понятие микроклимат (МК) [1]. Перечисленные качества или параметры воздуха составляют понятие **кондиции** воздушной среды.

В тех случаях, когда те или иные кондиции воздуха в помещении не могут быть обеспечены пассивными (без потребления энергии) конструктивно-планировочными мерами тепловой защиты и естественной вентиляцией, применяют активные (с использованием тепловой и электрической энергии) средства создания микроклимата помещений, объединяемые понятием **система кондиционирования микроклимата (СКМ)** [3, 4]. Активными системами кондиционирования микроклимата обслуживаемых помещений являются подсистемы по отношению к СКМ, которые принято называть **системы отопления (СО)**, **системы вентиляции (СВ)** и **системы кондиционирования воздуха (СКВ)**. Наиболее развитыми, совершенными функционально и наиболее технологически сложными среди подсистем СКМ являются системы кондиционирования воздуха [5—8].

Система кондиционирования воздуха представляет собой совокупность технических средств, объединенных единством цели создания требуемых параметров микроклимата путем приготовления кондиционированного воздуха, его перемещения и распределения в обслуживаемом помещении. Процесс приготовления кондиционированного воздуха с целью придания ему требуемых или заданных кондиций составляет совокупность технологических операций, представляющих **технологический процесс кондиционирования воздуха (ТП KB)**.

Системы приточной и вытяжной вентиляции, системы кондиционирования воздуха и, наконец, системы кондиционирования микроклимата представляют собой целостный комплекс взаимосвязанных элементов: машин, агрегатов и устройств, а также архитектурно-строительных сооружений, объединенных единством цели создания и функционирования. Этот комплекс обладает определенной структурой и закономерностями взаимодействия ее элементов как между собой, так и с некоторой внешней средой. Каждая из СВ, СКВ и СКМ в той или иной мере является множеством связанных сложными связями и взаимодействующих элементов, представляющих собой не простое суммирование, а особое соединение, которое в целом придает каждой системе новые качества, отсутствующие у каждой из них в отдельности.

Все сказанное позволяет считать СВ, СКВ и СКМ технической или технологической системой, представляющей некоторую совокупность элементов, выполняющих определенные функции и связанных единством цели функционирования.

Под целью функционирования СКВ, определяемой из основного назначения системы, в рассматриваемом случае понимается создание и поддержание в определенных пределах условий теплового, воздушного и влажностного режимов обслуживаемых помещений. При этом в основе достижения целей их функционирования лежит обязательное последовательное решение трех основных задач [1, 3, 4].

Первая. Исследование естественного (пассивного) режима сохранения требуемых или допустимых параметров микроклимата в помещении. Результатом решения этой задачи является выявление достаточности использования архитектурно-строительных и конструктивно-планировочных решений и общеобменной вентиляции для сохранения внутренних условий.

Вторая. Выявление необходимости перехода к специальной системе управляемого кондиционирования микроклимата. Это является результатом решения первой задачи в условиях, когда требуемые параметры микроклимата в помещении не могут быть сохранены путем использования более простых или дешевых средств.

Третья. Расчет принудительного (активного) режима поддержания требуемых параметров микроклимата с использованием искусственных специальных средств

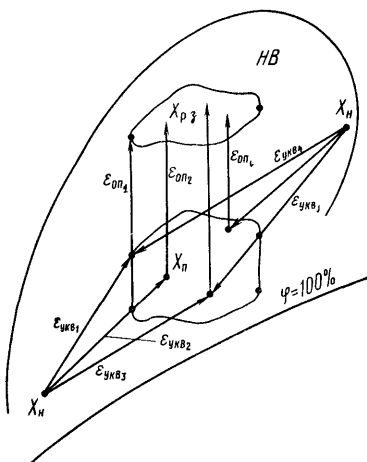


Рис. 1.1 Процессы кондиционирования воздуха

нагрева, охлаждения и вентиляции.

Результатом решения этой задачи является определение требуемой производительности и установочной мощности машин, аппаратов и устройств, а также определение управляемых режимов их работы.

Поскольку исследуются управляемые режимы работы машин, аппаратов и устройств, входящих в СКВ, а также управляемые режимы функционирования системы в целом, некоторые базовые

положения теории автоматического управления следует рассматривать применительно к общей теории и практике создания СКВ. При этом отметим, что в основе изучения процессов в СКВ остаются известные теоретические положения строительной физики, аэродинамики, гидравлики, тепло- и массообмена, теплопередачи и термодинамики. Однако в данном случае отправным моментом рассмотрения процессов в СКВ является исследование их свойств и особенностей как управляемых. Под управляемостью понимается возможность приведения показателей процессов с помощью управляющих воздействий в требуемый диапазон значений.

Технологические процессы в системе кондиционирования воздуха (в данном случае рассматриваются только процессы передачи тепла и массы $\epsilon_{УКВ_i}$, $\epsilon_{ОП_i}$), их последовательность и направленность (движение системы), их показатели (переменные состояния) и области допустимых состояний переменных представлены на фрагменте $I-d$ -диаграммы (рис. 1.1). Совокупность параметров обрабатываемого в системе наружного воздуха (переменные состояния: температура t_n , влажность ϕ_n , теплосодержание I_n , расход $G_{вн}$ и т. д.) обозначена многомерной функцией $X_n = X_n(\tau)$; совокупность параметров приточного кондиционированного воздуха (переменные состояния $t_{вп}$, ϕ_p , $G_{вп}$ и т. д.) — многомерной функцией

$X_n = X_n(\tau)$; совокупность параметров воздуха в рабочей зоне обслуживаемого помещения, в нерабочей зоне, в зоне отбора уходящего и рециркуляционного воздуха — соответственно многомерными функциями $X_{p,z} = X_{p,z}(\tau)$; $X_{n,z} = X_{n,z}(\tau)$; $X_{p,u} = X_{p,u}(\tau)$. Технологические процессы подготовки кондиционированного приточного воздуха и процессы ассимиляции и диссимиляции тепла и влаги в обслуживаемом помещении, т. е. движение системы из состояния X_n в состояние X_n и далее в $X_{p,z}$, характеризуются соответственно группами процессов $\varepsilon_{уқв,i}$ и $\varepsilon_{оп,i}$.

Отметим, что под переменными состояниями системы $X(\tau)$ понимаются обобщенные координаты системы или показатели технологического процесса кондиционирования воздуха в различных точках («н», «п», «р.з» и т. д.) системы в различные моменты времени τ . При этом набор переменных, например t, φ, G и т. д., характеризующих технологический процесс КВ в той или иной точке СКВ, определяет изображаемую точку процесса в n -мерном пространстве координат системы.

Как видно из рис. 1.1, для фиксированного состояния X_n существует некоторое множество допустимых состояний X_n и $X_{p,z}$, в которых может находиться точка X_n или $X_{p,z}$, и некоторое множество возможных реализаций процессов $\varepsilon_{уқв,i}$ и $\varepsilon_{оп,i}$. Количество и направление процессов $\varepsilon_{уқв}$ значительно увеличится и изменится при движении точки $X_n(\tau)$ в области пространства параметров наружного воздуха (НВ), ограниченной на $I-d$ диаграмме (см. рис. 1.1) линией $\varphi = 100\%$ и кривой, известной под названием граница климата рассматриваемой географической точки.

Любая система кондиционирования воздуха работает в условиях непрерывного отклонения внешних и внутренних переменных состояния от некоторых фиксированных (расчетных) значений. Фиксированные значения параметров наружного воздуха $X_n(\tau)$ и соответствующие им значения других входных переменных состояния, например температуры горячей воды на входе в СКВ $t_{w,1}$, будем считать начальными условиями. В таком случае неорганизованные неуправляемые отклонения внешних и внутренних переменных состояния, т. е. отклонения, которые могут появляться и исчезать в произвольные моменты времени и изменяться по произволь-

ному закону отклонения, существенно влияющие на показатели процессов $\varepsilon_{уқв}$ и $\varepsilon_{оп}$, являются возмущающими воздействиями f_{is} .

В системах кондиционирования воздуха имеют место две главные группы возмущающих воздействий $f(\tau)$: внешние и внутренние. Внешние возмущающие воздействия $f_{вн}(\tau)$, определяемые изменениями параметров наружного воздуха, приводят к отклонениям в работе теплообменных аппаратов и устройств, а также к отклонению тепловыделений и теплопотерь в обслуживаемых системах помещений. Внутренние возмущающие воздействия $f_{вн}(\tau)$ наблюдаются в обслуживаемых помещениях при наличии технологических и бытовых выделений и потерь тепла и влаги.

В общем виде возмущающие воздействия на обслуживаемое помещение могут быть представлены следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} f_{вн}(\tau) &= f_{вн} [\Delta Q_{огр}(\tau); \Delta Q_p(\tau); \Delta G_{в.ф}(\tau)]; \\ f_{вн}(\tau) &= f_{вн} [\Delta Q_{техн}(\tau); \Delta W_{техн}(\tau)], \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

где $\Delta Q_{огр}(\tau)$ — поступления или потери тепла через наружные ограждения; $\Delta Q_p(\tau)$ — теплопоступления за счет непосредственно проникающей в помещение солнечной радиации; $\Delta G_{в.ф}$ — расход воздуха, проходящего через ограждения (филтрация); $\Delta Q_{техн}(\tau)$ — технологические и бытовые выделения или стоки тепла; $\Delta W_{техн}(\tau)$ — технологические и бытовые выделения или потери влаги.

Достижение системой кондиционирования воздуха цели функционирования, а также обеспечение некоторых показателей эффективности в условиях непрерывного действия возмущений $f_{is}(\tau)$ становится возможным только при организации управления процессами $\varepsilon_{уқв}$ и $\varepsilon_{оп}$. В СКВ под управлением U (рис. 1.2, 1.3) подразумевается переработка некоторой воспринятой информации в сигналы, направляющие работу машин, аппаратов и устройств системы на изменение параметров обменива-

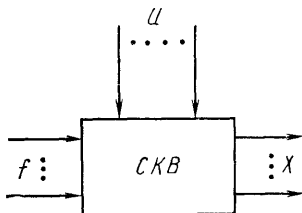


Рис. 1.2. Переменные состояния системы

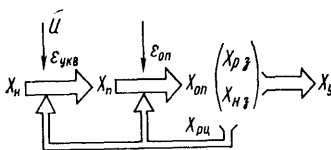


Рис. 1.3. Изменение показателей процессов $\varepsilon_{уқв}$ и $\varepsilon_{оп}$ в пространстве и времени